

日本国特許庁 10.9.2004  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 9月 8日  
Date of Application:

出願番号 特願2003-315988  
Application Number:  
[ST. 10/C]: [JP 2003-315988]

出願人 三菱住友シリコン株式会社  
Applicant(s):

REC'D 04 NOV 2004

WIPO

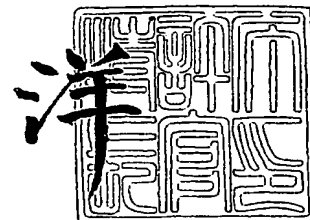
PCT

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年10月21日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小川



【書類名】 特許願  
【整理番号】 2003M018  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 H01L 21/265  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都港区芝浦一丁目 2 番 1 号 三菱住友シリコン株式会社内  
    【氏名】 遠藤 昭彦  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都港区芝浦一丁目 2 番 1 号 三菱住友シリコン株式会社内  
    【氏名】 森本 信之  
【特許出願人】  
    【識別番号】 302006854  
    【氏名又は名称】 三菱住友シリコン株式会社  
【代理人】  
    【識別番号】 100094215  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 安倍 逸郎  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 037833  
    【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1

## 【書類名】特許請求の範囲

## 【請求項 1】

p 型の活性層用ウェーハに、p 型の金属不純物を高濃度を含むエピタキシャル層を成長させるエピタキシャル成長工程と、

該エピタキシャル層の表面に絶縁膜を形成する絶縁膜形成工程と、

前記絶縁膜の形成後、前記エピタキシャル層の所定深さ位置に軽元素をイオン注入してイオン注入領域を形成するイオン注入工程と、

イオン注入後、前記活性層用ウェーハと支持基板用ウェーハとを、前記絶縁膜を介在して貼り合わせ、貼り合わせウェーハを形成する貼り合わせ工程と、

該貼り合わせウェーハを熱処理し、前記イオン注入領域内に軽元素バブルを形成させることで、前記所定深さ位置から活性層用ウェーハの一部を剥離し、活性層を形成する剥離工程とを備えた貼り合わせ基板の製造方法。

## 【請求項 2】

前記エピタキシャル層の厚さが  $0.3 \mu\text{m}$  以上で、

該エピタキシャル層の p 型の金属不純物がボロンで、

このボロン濃度が  $5 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$  を超えた請求項 1 に記載の貼り合わせ基板の製造方法。

## 【請求項 3】

絶縁膜が形成され、 $9 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$  を超える量のボロンを含有した p 型の活性層用ウェーハの所定深さ位置に軽元素をイオン注入し、前記活性層用ウェーハにイオン注入領域を形成するイオン注入工程と、

その後、イオン注入された活性層用ウェーハと支持基板用ウェーハとを、絶縁膜を介在して貼り合わせ、貼り合わせウェーハを形成する貼り合わせ工程と、

該貼り合わせウェーハを熱処理し、前記イオン注入領域内に軽元素バブルを形成させることで、前記所定深さ位置から活性層用ウェーハの一部を剥離し、活性層を形成する剥離工程とを備えた貼り合わせ基板の製造方法。

## 【請求項 4】

前記活性層用ウェーハへの絶縁膜の形成後または前記活性層用ウェーハの剥離後に、水素ガスを含む還元ガス雰囲気中、前記活性層用ウェーハまたは貼り合わせウェーハに対して  $1000^\circ\text{C}$  以上、1 時間以上のアニール処理を施す請求項 1～請求項 3 のうち、何れか 1 項に記載の貼り合わせ基板の製造方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】貼り合わせ基板の製造方法

【技術分野】

【0001】

この発明は貼り合わせ基板の製造方法、詳しくはスマートカット法を利用し、活性層用ウェーハにCOPなどの結晶欠陥が存在しない高品質の貼り合わせ基板を製造する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、SOI (silicon on insulator) 構造を有した半導体基板を製造する方法として、特許文献1に記載されたスマートカット法が開発されている。

これは、酸化膜が形成され、水素を所定深さ位置にイオン注入した活性層用ウェーハと、支持基板用ウェーハとを室温で貼り合わせ、その後、得られた貼り合わせウェーハを熱処理炉に挿入して熱処理し、そのイオン注入領域から活性層用ウェーハの一部を剥離する方法である。これにより、支持基板用ウェーハと活性層との間に埋め込みシリコン酸化膜を介在した貼り合わせSOI基板が得られる。

【0003】

ところで、近年のMOS型デバイスの高集積化に伴い、ゲート酸化膜が薄膜化されてソース・ドレインなどが浅くなっている。そのため、ゲート酸化膜の絶縁耐圧特性の向上および接合リーク電流の低減が強く要請されている。しかしながら、CZ法を用いたシリコン単結晶インゴットの引き上げ時におけるシリコン育成速度は、1.0～2.0mm/minと高速度であった。そのため、このインゴットをスライスしたシリコンウェーハ（以下、高速引き上げウェーハ）には、COP (Crystal Originated Particle)、OSF (Oxidation Induced Stacking Fault) などの結晶欠陥が多数存在する。これは、結晶引き上げ時に取り込まれる格子間シリコン、空孔、酸素が冷却中の熱履歴によって複雑な反応が起こるという理由による。その結果、ゲート酸化膜の絶縁耐圧特性などが劣り、最近のMOS型デバイスのさらなる高集積化には対応が困難であった。

【0004】

このような問題を解消する従来法として、例えば特許文献2に記載されたものが知られている。特許文献2では、CZ法における引き上げ速度を0.8mm/min以下としてシリコン単結晶インゴットを育成する。シリコンを低速度で育成することで、引き上げ界面で取り込まれる格子間シリコンと空孔が対消滅し、空孔の集合体であるCOPの密度を減少あるいは消滅させることが可能となり、また酸素析出に必要とされる空孔密度が下がるためにシリコン単結晶インゴット中に酸素析出物が析出され難くなる。

【特許文献1】特開平5-211128号公報

【特許文献2】特開平2-267195号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

そこで、このような低速引き上げのシリコンウェーハ（以下、低速引き上げウェーハ）を製造する技術を、スマートカット法に应用することが考えられる。すなわち、低速引き上げウェーハをスマートカット法により作製される貼り合わせSOI基板の活性層用ウェーハに利用する。そうすれば、活性層中にCOPなどの結晶欠陥が存在しない貼り合わせSOI基板を得ることができる。

しかしながら、低速引き上げウェーハを利用すれば、高速引き上げウェーハに比べて引き上げに長時間を要し、歩留りも悪くなる。その結果、貼り合わせSOI基板の製造コストが高騰するおそれがあった。

【0006】

また、従来、例えばボロン濃度 $1 \times 10^{16}$  atoms/cm<sup>3</sup> 前後のp型の活性層用

ウェーハを熱酸化炉に挿入し、活性層用ウェーハにシリコン酸化膜を形成する場合、シリコン酸化膜の形成速度は  $4 \sim 5 \times 10^{-4} \mu\text{m}/\text{min}$  程度であった（加熱温度  $1000^\circ\text{C}$  : ドライ酸素酸化）。その結果、埋め込みシリコン酸化膜の形成に時間がかかっていた。

さらには、イオン注入時、活性層用ウェーハに水素をイオン注入すると、活性層用ウェーハにイオン注入ダメージが発生し、活性層の品質を低下させていた。

#### 【0007】

この発明は、スマートカット法を採用した貼り合わせ基板において、結晶欠陥が存在しない活性層を有した貼り合わせ基板を、低コストおよび高スループットで製造することができ、しかもイオン注入による活性層のダメージを低減し、活性層の高品質化を図ることができ、さらには埋め込み絶縁膜の形成時間も短縮することができる貼り合わせ基板の製造方法を提供することを、その目的としている。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0008】

請求項1に記載の発明は、p型の活性層用ウェーハに、p型の金属不純物を高濃度を含むエピタキシャル層を成長させるエピタキシャル成長工程と、該エピタキシャル層の表面に絶縁膜を形成する絶縁膜形成工程と、前記絶縁膜の形成後、前記エピタキシャル層の所定深さ位置に軽元素をイオン注入してイオン注入領域を形成するイオン注入工程と、イオン注入後、前記活性層用ウェーハと支持基板用ウェーハとを、前記絶縁膜を介在して貼り合わせ、貼り合わせウェーハを形成する貼り合わせ工程と、該貼り合わせウェーハを熱処理し、前記イオン注入領域内に軽元素バブルを形成させることで、前記所定深さ位置から活性層用ウェーハの一部を剥離し、活性層を形成する剥離工程とを備えた貼り合わせ基板の製造方法である。

#### 【0009】

請求項1に記載の発明によれば、貼り合わせウェーハを剥離熱処理すると、エピタキシャル層のイオン注入領域内に軽元素バブルが形成される。これにより、埋め込み絶縁膜を介して、支持基板用ウェーハ側にエピタキシャル層の一部を構成する活性層を残し、エピタキシャル層の残部が活性層用ウェーハと共に剥離される。したがって、活性層は結晶欠陥が存在しないエピタキシャル成長により得られた層となる。

その結果、スマートカット法を採用した貼り合わせ基板において、結晶欠陥が存在しない活性層を有する貼り合わせ基板を、従来の低速引き上げウェーハよりも高スループットで、歩留りも大きい高速引き上げウェーハを利用して作製することができる。しかも、例えばエピタキシャル層の表面に絶縁膜として酸化膜を形成する場合には、エピタキシャル層内のp型の金属不純物の濃度が高いため、酸化膜の形成速度が速まる。これは、シリコン中のホウ素（ボロン）は酸化の進行に伴い酸化膜中に偏析する。酸化膜中のホウ素は  $\text{SiO}_2$  網目構造の結合を弱めるので、酸化種の拡散を促進し、酸化速度を増大させることになるという理由による。すなわちホウ素の酸化促進効果は、酸化反応における拡散律速領域で顕著になる。その結果、貼り合わせ基板のスループットがさらに高まる。

また、エピタキシャル層にp型の金属不純物を高濃度に添加すると、帯電した空孔の発生およびキンクサイトの発生がそれぞれ促進される。これにより、水素のイオン注入によるエピタキシャル層の結晶欠陥の回復（再結晶化）が速まる。よって、イオン注入による活性層のダメージが低減され、活性層の高品質化が図れる。

#### 【0010】

活性層用ウェーハおよび支持基板用ウェーハの種類としては、例えば単結晶シリコンウェーハ、ゲルマニウムウェーハ、 $\text{SiC}$ ウェーハを採用することができる。

絶縁膜としては、例えば酸化膜、窒化膜などを採用することができる。

絶縁膜の厚さはエピタキシャル層より薄ければ限定されない。例えば、 $0.2 \mu\text{m}$ 未満、好ましくは $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ である。

活性層の厚さは限定されない。例えば、厚膜の活性層では $1 \sim 10 \mu\text{m}$ である。また、薄膜の活性層では $0.01 \sim 1 \mu\text{m}$ である。

## 【0011】

活性層用ウェーハにエピタキシャル層を成長させるエピタキシャル成長装置は限定されない。例えば、気相エピタキシャル成長装置を採用することができる。気相エピタキシャル成長装置としては、例えば活性層用ウェーハを1枚ずつエピタキシャル成長処理する枚葉式エピタキシャル成長装置でもよい。また、複数の活性層用ウェーハを一度に処理するバッチ式のエピタキシャル成長装置でもよい。

原料ガスとしては、例えば $\text{SiH}_4$ 、 $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ 、 $\text{SiHCl}_3$ 、 $\text{SiCl}_4$ などを採用することができる。

キャリアガスとしては、例えば水素ガス、不活性ガスなどを採用することができる。

気相エピタキシャル成長装置の炉内を加熱する加熱手段としては、例えばハロゲンランプ、赤外線ランプなどを採用することができる。

## 【0012】

活性層用ウェーハおよびエピタキシャル層に含有されるp型の金属不純物としては、例えばボロンを採用することができる。

活性層用ウェーハの金属不純物の濃度は限定されない。

## 【0013】

軽元素としては、例えば水素(H)の他、希ガスの元素であるヘリウム(He)、ネオン(Ne)、アルゴン(Ar)、クリプトン(Kr)、キセノン(Xe)、ラドン(Rn)などでもよい。これらの単体または化合物でもよい。

イオン注入時の軽元素のドーズ量は限定されない。例えば $2 \times 10^{16} \sim 8 \times 10^{16}$  atoms/cm<sup>2</sup>である。

軽元素のイオン注入時の加速電圧は、50keV以下、好ましくは30keV以下、さらに好ましくは20keV以下である。ヘリウムのイオン注入は、低加速電圧ほど目標深さにヘリウムを集中させることができる。

剥離時の貼り合わせウェーハの加熱温度は400℃以上、好ましくは400～700℃、さらに好ましくは450～550℃である。400℃未満では、活性層用ウェーハにイオン注入された軽元素から軽元素バブルを形成することが難しい。また、700℃を超えると、活性層内に酸素析出物が形成されてしまいデバイス特性の低下を招くおそれがある。

## 【0014】

剥離時の炉内雰囲気は、非酸化性ガス(窒素、アルゴンなどの不活性ガス)の雰囲気でもよい。また、真空中でもよい。

剥離時の貼り合わせウェーハの加熱時間は1分間以上、好ましくは10～60分間である。1分間未満では、貼り合わせウェーハにイオン注入された軽元素をバブル化することが困難になる。

剥離工程後、活性層用ウェーハと支持基板用ウェーハとの貼り合わせ熱処理の強度を高める貼り合わせ熱処理を施してもよい。この際の熱処理条件は、例えば1100℃、2時間である。熱酸化炉内の雰囲気ガスとしては、酸素などを採用することができる。

## 【0015】

請求項2に記載の発明は、前記エピタキシャル層の厚さが0.3μm以上で、該エピタキシャル層のp型の金属不純物がボロンで、このボロン濃度が $5 \times 10^{18}$  atoms/cm<sup>3</sup>を超えた請求項1に記載の貼り合わせ基板の製造方法である。

エピタキシャル層の厚さが0.3μm未満では活性層基板に存在するCOPをエピタキシャル成長で埋めきれずにエピタキシャル表面にくぼみが残る。エピタキシャル層の好ましい厚さは0.5～1.0μmである。

エピタキシャル層のボロン濃度が $5 \times 10^{18}$  atoms/cm<sup>3</sup>以下では酸化膜成長速度改善効果およびイオン注入損傷領域回復効果が小さくなる。エピタキシャル層の好ましいボロン濃度は $8 \times 10^{18} \sim 2 \times 10^{19}$  atoms/cm<sup>3</sup>である。

## 【0016】

請求項3に記載の発明は、絶縁膜が形成され、 $9 \times 10^{18}$  atoms/cm<sup>3</sup>を超える

量のボロンを含有したp型の活性層用ウェーハの所定深さ位置に軽元素をイオン注入し、前記活性層用ウェーハにイオン注入領域を形成するイオン注入工程と、その後、イオン注入された活性層用ウェーハと支持基板用ウェーハとを、絶縁膜を介在して貼り合わせ、貼り合わせウェーハを形成する貼り合わせ工程と、該貼り合わせウェーハを熱処理し、前記イオン注入領域内に軽元素バブルを形成させることで、前記所定深さ位置から活性層用ウェーハの一部を剥離し、活性層を形成する剥離工程とを備えた貼り合わせ基板の製造方法である。

#### 【0017】

請求項3に記載の発明によれば、活性層用ウェーハ用のインゴット（例えばシリコン単結晶インゴット）の引き上げ時、結晶中にはボロンが $9 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ を超える量を含んでいる。そのため、引き上げ中のインゴットに結晶欠陥は存在しない。これは、ボロン濃度増大に伴い、格子間シリコンの熱平衡濃度が増大するという理由による。

剥離時、活性層用ウェーハのイオン注入領域内で軽元素バブルが形成される。その結果、埋め込み絶縁膜を介して、支持基板用ウェーハ側に活性層を残し、活性層用ウェーハの本体部分が剥離される。よって、スマートカット法を採用した貼り合わせ基板において、結晶欠陥が存在しない活性層を有する貼り合わせ基板を、従来の低速引き上げウェーハよりも高スループットで、歩留りも大きい高速引き上げウェーハを利用して作製することができる。しかも、請求項3に記載の発明はインゴット中のボロン濃度を高めるだけでよい。そのため、活性層に結晶欠陥が存在しない貼り合わせ基板を低コストで作製することができる。

#### 【0018】

また、例えば活性層用ウェーハに酸化膜（絶縁膜）を形成するとき、活性層用ウェーハ内にはボロンが高濃度（ $9 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ ）に含まれている。ウェーハ中の金属不純物の濃度が高ければ、酸化膜の形成速度は速まる。そのため、貼り合わせ基板のスループットはさらに高まる。しかも、この活性層用ウェーハの酸化過程では、シリコン中より $\text{SiO}_2$ のボロン固溶度が大きいので、酸化膜に活性層用ウェーハ中のボロンが局在（偏析）する。その結果、酸化膜との界面近傍のシリコン中、最終的にはSOI構造の活性層になる領域のボロン濃度は元々の基板のボロン濃度より低くなる。

また、活性層用ウェーハにp型の金属不純物が高濃度に含まれると、活性層用ウェーハの帯電した空孔の発生およびキンクサイトの発生がそれぞれ促進される。これにより、水素のイオン注入による結晶欠陥の回復（再結晶化）が速まる。そのため、イオン注入による活性層ダメージが低減され、活性層の高品質化が図れる。

#### 【0019】

活性層用ウェーハのボロン濃度が $9 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下（ $\rho < 10 \text{ m}\Omega\text{cm}$ ）では、結晶引き上げ条件によってはCOPが消えない。活性層用ウェーハの好ましいボロン濃度は $12 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ （ $\rho < 6 \text{ m}\Omega\text{cm}$ ）である。

また、活性層用ウェーハは、比抵抗 $\rho$ が $10 \text{ m}\Omega\text{cm}$ 未満、格子間酸素原子濃度 $\text{O}_i$ が $12 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 未満[o1d ASTM 換算]、酸化膜（絶縁膜）の形成温度が $1000^\circ\text{C}$ を超える製造条件を満足させた場合、剥離後も酸化析出物、 $\text{OSF}$ などの結晶欠陥が発生しなくなる。これにより、活性層用ウェーハを再使用することができる。

#### 【0020】

請求項4に記載の発明は、前記活性層用ウェーハへの絶縁膜の形成後または前記活性層用ウェーハの剥離後に、水素ガスを含む還元ガス雰囲気中、前記活性層用ウェーハまたは貼り合わせウェーハに対して $1000^\circ\text{C}$ 以上、1時間以上のアニール処理を施す請求項1～請求項3のうち、何れか1項に記載の貼り合わせ基板の製造方法である。

#### 【0021】

活性層用ウェーハまたは貼り合わせウェーハに対して、絶縁膜の形成後または剥離後に所定の条件でアニール処理を施す。これにより、活性層用ウェーハの表層付近または活性層におけるp型の金属不純物の外方拡散が促進され、活性層の比抵抗を低減させ、従来の

p型活性層ウェーハから得られる $1 \sim 10 \Omega \text{cm}$ 程度の活性層が得られる。

【0022】

アニール処理は、活性層用ウェーハへの絶縁膜の形成後でもよい。また、活性層用ウェーハの剥離後でもよい。

水素を除く還元ガスとしては、例えば一酸化炭素ガス、二酸化硫黄ガスなどを採用することができる。

アニール温度が $1000^\circ\text{C}$ 未満およびアニール時間が1時間未満ではボロンの外方拡散が十分ではなく、活性層におけるボロン濃度が要求値より高くなる。貼り合わせウェーハの好ましいアニール温度は $1100 \sim 1200^\circ\text{C}$ で、貼り合わせウェーハの好ましいアニール時間は $1 \sim 4$ 時間である。

【発明の効果】

【0023】

請求項1に記載の発明および請求項3に記載の発明によれば、活性層を結晶欠陥が存在しないエピタキシャル成長により作製されたエピタキシャル層としたので、スマートカット法により作製され、結晶欠陥が存在しない活性層を有した貼り合わせ基板を、従来の低速引き上げウェーハを活性層用ウェーハに採用した場合に比べて、高スループットでかつ歩留りも大きく製造することができる。しかも、エピタキシャル層の金属不純物の濃度が高いので、絶縁膜の一種である酸化膜の形成時には、その形成速度が速まる。その結果、貼り合わせ基板のスループットをさらに高めることができる。さらに、イオン注入による活性層のダメージを低減することができ、活性層の高品質化を図ることもできる。

【0024】

また、請求項3の発明によれば、 $9 \times 10^{18} \text{atoms/cm}^3$ を超える量のボロンを含有した結晶欠陥が存在しない活性層をエピタキシャル成長により作製したので、スマートカット法により作製され、結晶欠陥が存在しない活性層を有した貼り合わせ基板を、高スループットで歩留りも大きく製造することができる。しかも、エピタキシャル層の金属不純物の濃度が高いため、例えば酸化膜（絶縁膜）の形成速度が速まる。その結果、貼り合わせ基板のスループットがさらに高まる。さらに、イオン注入による活性層のダメージを低減することができ、活性層の高品質化も図れる。

さらにまた、活性層用ウェーハのボロン濃度を高めるだけで活性層の結晶欠陥を無くすることができるので、活性層に結晶欠陥が存在しない貼り合わせ基板を低コストで作製することもできる。

【0025】

また、請求項4の発明によれば、絶縁膜の形成後または剥離後に、所定の条件で活性層用ウェーハまたは貼り合わせウェーハに対してアニール処理を施すので、活性層用ウェーハの表層付近または活性層におけるp型の金属不純物の外方拡散が促進される。その結果、活性層の比抵抗を低減させることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

以下、この発明の実施例を図面を参照して説明する。

【実施例1】

【0027】

ボロンが約 $1 \times 10^{19} \text{atoms/cm}^3$ と高濃度に添加されたp型のシリコン単結晶インゴットをCZ法により引き上げる。引き上げ速度は、 $1.0 \text{mm/min}$ である。シリコン単結晶インゴットの格子間酸素原子濃度 $O_i$ は $11 \times 10^{17} \sim 12 \times 10^{17} \text{atoms/cm}^3$ である。その後、シリコン単結晶インゴットに、ブロック切断、スライス、面取り、鏡面研磨などを施す。これにより、厚さ $725 \mu\text{m}$ 、直径 $200 \text{mm}$ 、比抵抗 $9 \text{m}\Omega \text{cm}$ 、p型の鏡面仕上げされた活性層用ウェーハ10が得られる（図1（a））。

一方、ボロンが約 $1 \times 10^{15} \text{atoms/cm}^3$ と低濃度に添加されたp型のシリコン単結晶インゴットをCZ法により引き上げる。その後、シリコン単結晶インゴットに、



ブロック切断、スライス、面取り、鏡面研磨などを施す。これにより、厚さ $725\mu\text{m}$ 、直径 $200\text{mm}$ 、比抵抗 $10\Omega\text{cm}$ 、p型の鏡面仕上げされた支持基板用ウェーハ20が得られる(図1(b))。

#### 【0028】

その後、活性層用ウェーハ10を熱酸化装置に挿入し、酸素ガス雰囲気中で熱酸化処理を施す。これにより、活性層用ウェーハ10の露出面の全域に、厚さ約 $0.15\mu\text{m}$ のシリコン酸化膜10aを形成する。熱処理条件は $1000^{\circ}\text{C}$ 、180分間である(図1(c))。

次に、活性層用ウェーハ10の鏡面仕上げされた表面から所定深さ位置に、中電流イオン注入装置を使用し、 $50\text{keV}$ の加速電圧で水素をイオン注入する。これにより、活性層用ウェーハ10に、水素イオン注入領域10bが形成される(図1(c))。このときのドーズ量は、 $5\times 10^{16}\text{atoms}/\text{cm}^2$ である。

#### 【0029】

続いて、活性層用ウェーハ10の表面と支持基板用ウェーハ20の鏡面とを貼り合わせ面(重ね合わせ面)とし、シリコン酸化膜10aを介して、例えば真空装置内で公知の治具により、両ウェーハ10、20を貼り合わせて貼り合わせウェーハ30を作製する(図1(d))。このとき、活性層用ウェーハ10と支持基板用ウェーハ20とが、シリコン酸化膜10aを介して接合し、この接合部分のシリコン酸化膜10aが埋め込みシリコン酸化膜(絶縁膜)30aとなる。

#### 【0030】

それから、貼り合わせウェーハ30を図示しない剥離熱処理装置に挿入し、 $500^{\circ}\text{C}$ の炉内温度、酸素ガスの雰囲気中で熱処理する(図1(e))。熱処理時間は30分間である。この熱処理により、支持基板用ウェーハ20の貼り合わせ界面側に活性層10Aを残し、活性層用ウェーハ10を水素イオン注入領域10bから剥離する低温熱処理が施される。剥離された活性層用ウェーハ10の残部は、支持基板用ウェーハ20として再利用することができる。

#### 【0031】

剥離後、貼り合わせウェーハ30に対して、 $1100^{\circ}\text{C}$ 、2時間の貼り合わせ熱処理を施す。これにより、活性層用ウェーハ10と支持基板用ウェーハ20との貼り合わせ強度が増強される。

次いで、活性層10Aの表面を研磨装置により研磨する。こうして、スマートカット法による貼り合わせSOI基板(貼り合わせ基板)が作製される(図1(f))。

#### 【0032】

このように、活性層用ウェーハ用のシリコン単結晶インゴットの引き上げ時、結晶中にはボロンが $1\times 10^{19}\text{atoms}/\text{cm}^3$ と多量に含有されているため、引き上げ中のシリコン単結晶インゴット、ひいては活性層10Aに結晶欠陥が存在しない。

実施例1では、シリコン単結晶インゴット中に高濃度にボロンを添加したので、結晶欠陥が存在しないシリコン単結晶インゴットを、引き上げ速度 $1.0\text{mm}/\text{min}$ という高速度で引き上げることができる。その結果、結晶欠陥が存在しない活性層10Aを有する貼り合わせSOI基板を、従来の活性層用ウェーハに低速引き上げウェーハを採用した場合よりも高スループットで、歩留りも大きく作製することができる。しかも、実施例1ではシリコン単結晶インゴット中のボロン濃度を増大させるだけでよいので、このような貼り合わせSOI基板を低コストで作製することができる。

#### 【0033】

また、シリコン酸化膜10aの形成時において、活性層用ウェーハ10には予めボロンが高濃度に添加されているので、シリコン酸化膜10aの形成速度が速まる。そのため、貼り合わせSOI基板のスループットがさらに高められる。しかも、この活性層用ウェーハ10の酸化過程では、ボロンの固溶度の差により、シリコン酸化膜10aに活性層用ウェーハ10中のボロンが局在(偏析)する。その結果、活性層10Aのボロン濃度は約1/2程度まで低減される。この場合、剥離後のSOI層表面の平坦化、薄膜化処理を研磨

によって実施したが、これを犠牲酸化法を適応することで更にボロン濃度を低減させることが可能となる。

#### 【0034】

このように、活性層用ウェーハ10にボロンを高濃度に添加すると、活性層用ウェーハ10の帯電した空孔の発生およびキンクサイトの発生がそれぞれ促進される。そのため、水素のイオン注入による活性層用ウェーハ10の結晶欠陥の回復が速めらる。その結果、このイオン注入による活性層10Aのダメージが低減され、活性層10Aの高品質化が図れる。

さらに、活性層用ウェーハ10は、比抵抗 $\rho$ が $10\text{ m}\Omega\text{ cm}$ 未満、格子間酸素原子濃度 $O_i$ が $12 \times 10^{17}\text{ atoms/cm}^3$ 未満、シリコン酸化膜10aの形成温度が $1000^\circ\text{C}$ を超える製造条件を満足している。そのため、剥離後も活性層用ウェーハ10の残部には、酸素析出物やOSFなどの結晶欠陥が発生しない。その結果、活性層用ウェーハ10の再使用が可能となる。

#### 【0035】

なお、シリコン酸化膜10aの形成後または剥離後には、水素ガスまたは他の還元ガス雰囲気、活性層用ウェーハ10または貼り合わせウェーハ30に対して $1000^\circ\text{C}$ 以上、1時間以上のアニール処理を施してもよい。これにより、活性層用ウェーハ10の表層付近または活性層10Aにおけるボロンの外方拡散が促進される。その結果、活性層10Aの比抵抗を低減させることができる。

#### 【実施例2】

#### 【0036】

次に、図2のフローシートを参照し、この発明の実施例2の貼り合わせ基板の製造方法を説明する。実施例2の特徴は、ボロン濃度が $1 \times 10^{19}\text{ atoms/cm}^3$ の活性層用ウェーハ10に代えて、ボロンを高濃度に含む単結晶シリコン製のエピタキシャル層40が表面に成長され、かつバルク全体にはボロンを低濃度に含んだ活性層用ウェーハ10Bを採用した例である。

#### 【0037】

以下、実施例2の貼り合わせ基板の製造方法を具体的に説明する。

ボロンが約 $1 \times 10^{15}\text{ atoms/cm}^3$ と低濃度に添加されたp型のシリコン単結晶インゴットをCZ法により引き上げる。引き上げ速度は、 $1.0\text{ mm/min}$ である。その後、シリコン単結晶インゴットに、ブロック切断、スライス、面取り、鏡面研磨などを施す。これにより、厚さ $725\text{ }\mu\text{m}$ 、直径 $200\text{ mm}$ 、比抵抗 $10\text{ }\Omega\text{ cm}$ 、p型の鏡面仕上げされた活性層用ウェーハ10Bと支持基板用ウェーハ20とが、それぞれ作製される(図2(a), 図2(b))。

#### 【0038】

その後、活性層用ウェーハ10Bを図示しないエピタキシャル成長装置に挿入し、活性層用ウェーハ10Bの鏡面仕上げされた表面に、ボロンが $1 \times 10^{19}\text{ atoms/cm}^3$ と多量に添加された $P^{++}$ 型のエピタキシャル層40を成長させる。

すなわち、活性層用ウェーハ10Bをエピタキシャル成長装置の反応炉に配備されたサセプタに載置する。その後、 $\text{SiHCl}_3$ ガス(0.1体積%  $\text{H}_2$ ガス希釈)に $\text{B}_2\text{H}_6$ ガス(分圧 $2 \sim 4 \times 10^{-5}$ )を混合し、全体で $80\text{ リットル/min}$ で反応炉に供給し、活性層用ウェーハ10Bの表面にエピタキシャル層40を成長させる。エピタキシャル成長温度は $1100^\circ\text{C}$ 、エピタキシャル成長時間は2分間である。こうして、活性層用ウェーハ10Bの表面に厚さ約 $0.6\text{ }\mu\text{m}$ 、比抵抗約 $9\text{ m}\Omega\text{ cm}$ のエピタキシャル層40が成長される。

#### 【0039】

次に、活性層用ウェーハ10Bを熱酸化装置に挿入し、酸素ガス雰囲気、熱酸化処理を施す。これにより、エピタキシャル層40の表面を含む活性層用ウェーハ10Bの露出面の全域に、厚さ $0.15\text{ }\mu\text{m}$ のシリコン酸化膜10aが形成される。熱処理条件は $1000^\circ\text{C}$ 、 $180\text{ 分間}$ である(図2(c))。

## 【0040】

次に、エピタキシャル層40の表面からその所定深さ位置に、中電流イオン注入装置を使用し、50keVの加速電圧で水素をイオン注入する。これにより、エピタキシャル層40に、水素イオン注入領域10bが形成される(図2(d))。このときのドーズ量は、 $5 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^2$ である。

## 【0041】

続いて、活性層用ウェーハ10Bの表面と支持基板用ウェーハ20の鏡面とを貼り合わせ面(重ね合わせ面)とし、シリコン酸化膜10aを介して、例えば真空装置内で公知の治具により、両ウェーハ10B、20を貼り合わせて貼り合わせウェーハ30を作製する(図1(e))。このとき、活性層用ウェーハ10Bと支持基板用ウェーハ20とが、シリコン酸化膜10aを介して接合し、この接合部分のシリコン酸化膜10aが埋め込みシリコン酸化膜(絶縁膜)30aとなる。

## 【0042】

それから、貼り合わせウェーハ30を図示しない剥離熱処理装置に挿入し、500℃の炉内温度、窒素ガスの雰囲気中で30分間だけ剥離熱処理する(図2(f))。この熱処理により、支持基板用ウェーハ20の貼り合わせ界面側に活性層10Aを残し、活性層用ウェーハ10Bを水素イオン注入領域10bから剥離する低温熱処理が施される。

## 【0043】

剥離後、貼り合わせウェーハ30に対して、1100℃、2時間の貼り合わせ熱処理を施す。これにより、活性層用ウェーハ10Bと支持基板用ウェーハ20との貼り合わせ強度が増強される。

次いで、活性層10Aの表面が研磨装置により研磨される。こうして、スマートカット法による貼り合わせSOI基板(貼り合わせ基板)が作製される(図2(g))。

## 【0044】

このように、剥離時には、埋め込みシリコン酸化膜30aを介して、支持基板用ウェーハ20側に活性層10Aを残し、活性層用ウェーハ10Bの残部が剥離される。よって、スマートカット法を採用した貼り合わせSOI基板において、結晶欠陥が存在しない活性層10Aを有する貼り合わせSOI基板を、従来の低速引き上げウェーハよりも高スループットで、しかも歩留りが大きい高速引き上げウェーハを利用して作製することができる。さらに、その製造においてはシリコン単結晶インゴット中のボロン濃度を高めるだけでよい。そのため、活性層10Aに結晶欠陥が存在しない貼り合わせSOI基板を低コストで作製することができる。

その他の構成、作用および効果は、実施例1と同様であるので説明を省略する。

## 【0045】

ここで、実際に本発明法および従来法について、剥離工程後の活性層用ウェーハのBMD(Bulk Micro Defect: 内部微小欠陥)とOSF(Oxidation Induced Sacking Fault)とについて、比較調査した結果を報告する。

評価方法としては、活性層用ウェーハを1000℃、16時間熱処理後、活性層用ウェーハをエッチングするライトエッチ評価法を採用した。具体的には、エッチング液(HF:HNO<sub>3</sub>:CrO<sub>3</sub>:Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>O:CH<sub>3</sub>COOH=60cc:30cc:30cc:2g:60cc:60cc)により2μmエッチングし、光学顕微鏡で欠陥を測定する評価方法である。剥離後のBMD/OSFの評価は $5 \times 10^3 / \text{cm}^2$ を基準とし、それ未満では良(O)、それ以上では不良(X)とした。その結果を表1に示す。

## 【0046】

【表 1】

|       | 支持基板用ウェーハの<br>B 濃度                             | 活性層ウェーハの<br>O i 濃度                 | BOX 形成温度 | 剥離後の BMD<br>/ OSF 評価 |
|-------|--|------------------------------------|----------|----------------------|
| 試験例 1 | $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$<br>(9 mΩ cm)  | $1.1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ | 1000℃    | ○                    |
| 試験例 2 | $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$<br>(9 mΩ cm)  | $1.2 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ | 1000℃    | ○                    |
| 試験例 3 | $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$<br>(9 mΩ cm)  | $1.2 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ | 950℃     | ×                    |
| 比較例 1 | $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$<br>(9 mΩ cm)  | $1.3 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ | 1000℃    | ×                    |
| 比較例 2 | $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$<br>(15 mΩ cm) | $1.2 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ | 1000℃    | ×                    |

B: ボロン、O i: 格子間酸素原子濃度、BOX: 埋め込みシリコン酸化膜

BMD/OSF 評価:  $5 \times 10^3$  個/cm<sup>2</sup> 未満で (○),  $5 \times 10^3$  個/cm<sup>2</sup> 以上で (×)

## 【0047】

表 1 のグラフから明らかなように、試験例 1 ~ 試験例 2 はいずれも BMD/OSF の評価は  $5 \times 10^3$  個/cm<sup>2</sup> 未満で、比較例 1 に比べて改善された。試験例 3 の場合には、埋め込みシリコン酸化膜の形成温度が 1000℃ 未満であるため、剥離後の活性層用ウェーハの残部に  $5 \times 10^3$  個/cm<sup>2</sup> を若干超える結晶欠陥が存在し、活性層用ウェーハ 10 の再使用には不適であった。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0048】

【図 1】この発明の実施例 1 に係る貼り合わせ基板の製造方法を示すフローシートである。

【図 2】この発明の実施例 2 に係る貼り合わせ基板の製造方法を示すフローシートである。

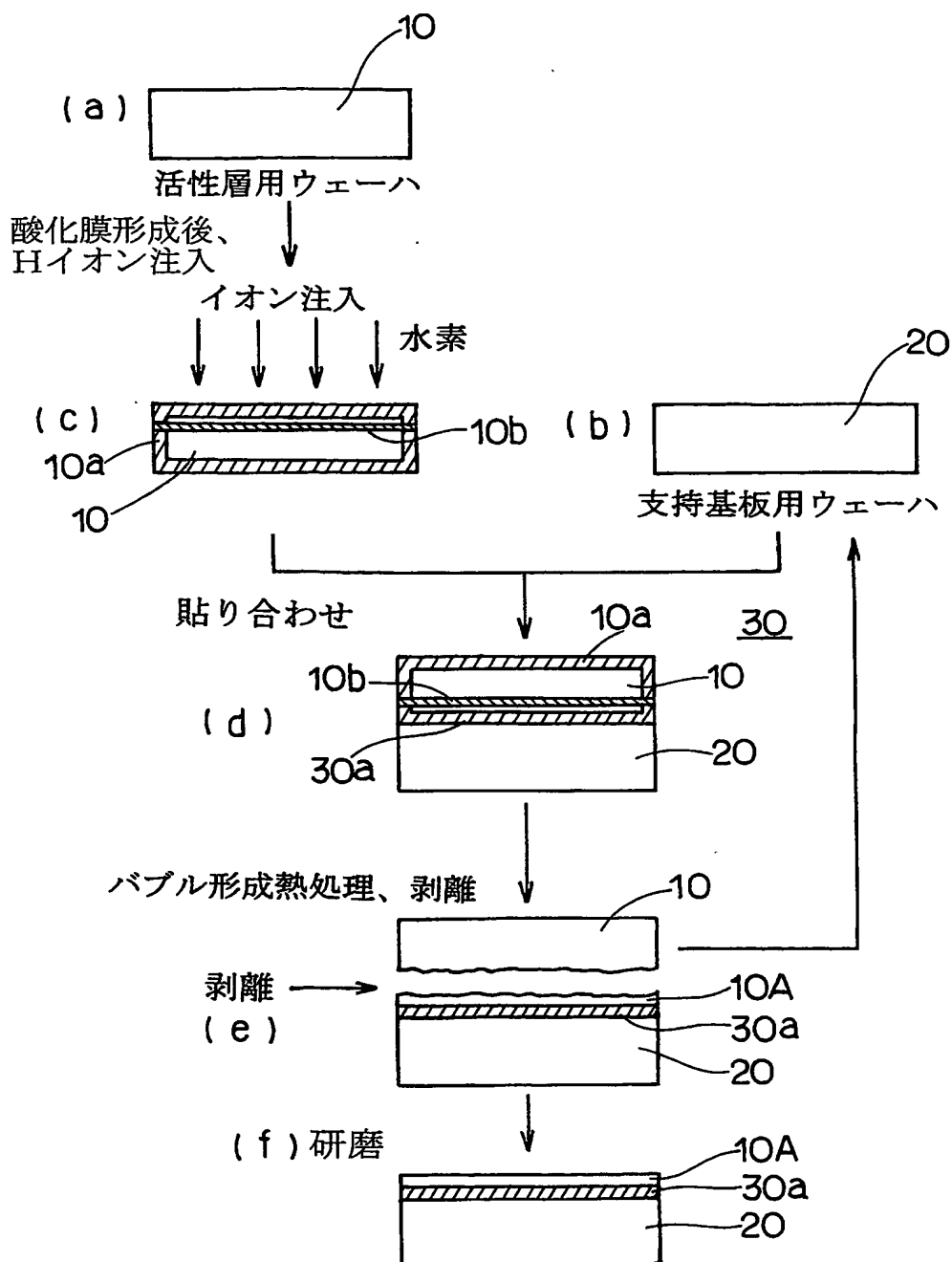
## 【符号の説明】

## 【0049】

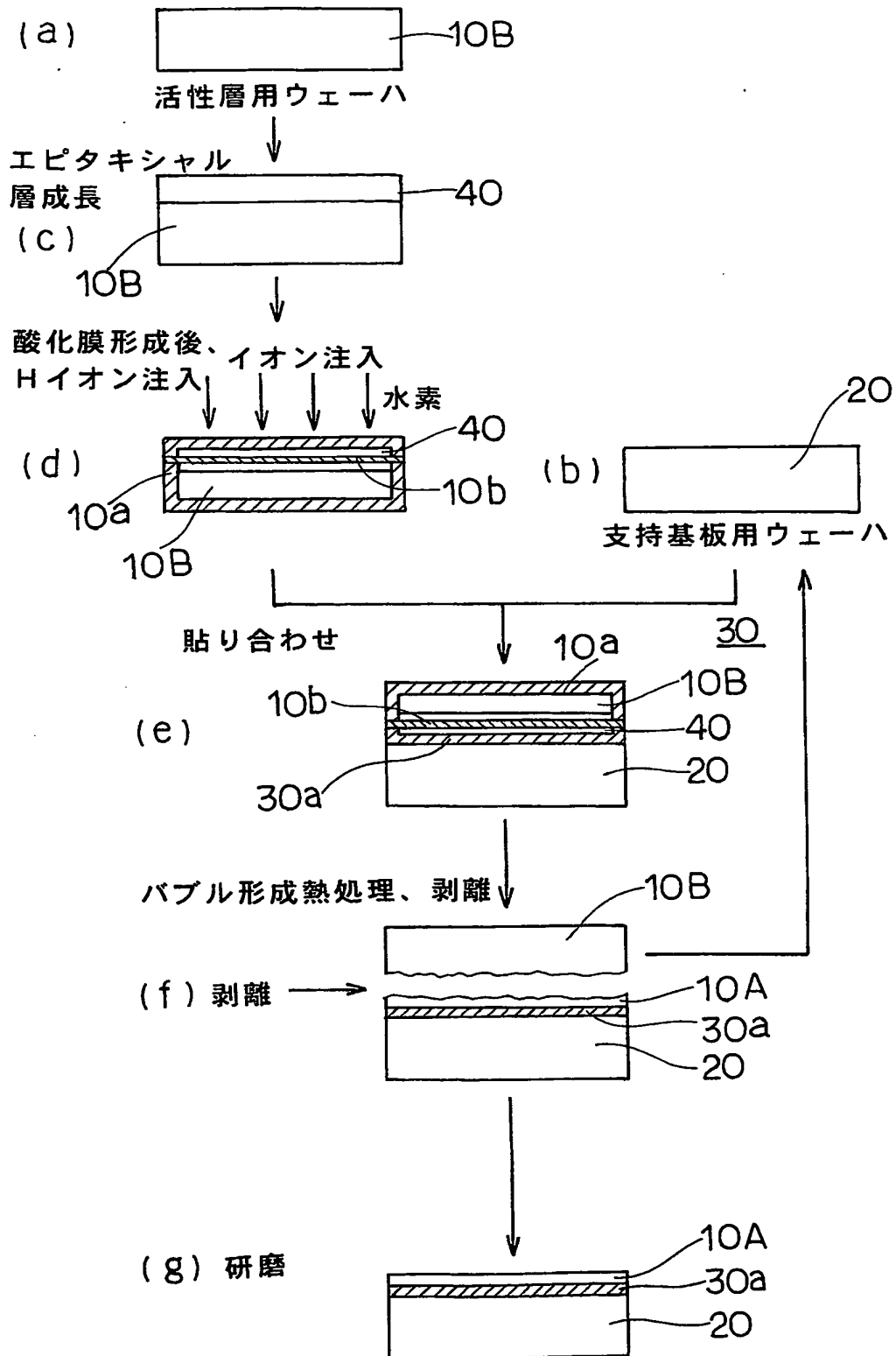
- 10, 10B 活性層用ウェーハ、
- 10a シリコン酸化膜（絶縁膜）、
- 20 支持基板用ウェーハ、
- 10b 水素イオン注入領域（イオン注入領域）、
- 10A 活性層、
- 30 貼り合わせウェーハ、
- 40 エピタキシャル層。

【書類名】 図面

【図 1】



【図2】



## 【書類名】要約書

## 【要約】

## 【課題】

結晶欠陥が存在しない活性層を有する貼り合わせ基板を、低コスト、高スループットで製造でき、イオン注入時の活性層のダメージを低減し、活性層の高品質化を図れる貼り合わせ基板の製造方法を提供する。

## 【解決手段】

活性層用ウェーハ10に $9 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ を超えるボロンを添加し、活性層10Aを結晶欠陥が存在しない貼り合わせSOI基板としたので、スマートカットウェーハであるものの高スループットで歩留りも大きくなる。また、活性層用ウェーハ10のボロン濃度が高いため、シリコン酸化膜10aの形成速度は速い。その結果、スループットがさらに高まる。しかも、活性層10Aのイオン注入によるダメージが低減され、活性層10Aの高品質化を図れる。

## 【選択図】図1

認定・付加情報

|         |                          |
|---------|--------------------------|
| 特許出願の番号 | 特願 2 0 0 3 - 3 1 5 9 8 8 |
| 受付番号    | 5 0 3 0 1 4 8 7 6 6 3    |
| 書類名     | 特許願                      |
| 担当官     | 第五担当上席 0 0 9 4           |
| 作成日     | 平成 1 5 年 9 月 9 日         |

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】 平成 15 年 9 月 8 日



特願 2 0 0 3 - 3 1 5 9 8 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 3 0 2 0 0 6 8 5 4 ]

1. 変更年月日

2 0 0 2 年 1 月 3 1 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都港区芝浦一丁目2番1号

氏 名

三菱住友シリコン株式会社